

ANALISIS TRANSFORMATOR FLYBACK SEBAGAI PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI UNTUK PESAWAT SINAR-X MEDIK

Yadi Yunus¹, Nugroho Trisanyoto², Ari Ekasakti³

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta

Telp : (0274)48085,489716 ; Fax : (0274)489715

Email: yadiyunus@batan.go.id

Abstrak

Hingga saat ini peralatan medik seperti pesawat sinar-X untuk diagnostik di Indonesia masih merupakan peralatan produk bangsa asing lebih-lebih yang penggunaannya mobile. Pada pesawat sinar-x untuk expose sinar-Xnya mesti memerlukan suplai tegangan tinggi. Untuk pesawat sinar-x yang portabel seperti untuk rontgen gigi tegangan itu kisarannya 20 s/d 80 kV. Untuk membangkitkan tegangan setinggi itu bila menggunakan transformator konvensional akan memakan tempat dan bobot yang besar, sementara alat-alat yang portabel tentu tidak bisa demikian. Dalam penelitian ini, telah dilakukan pembuatan rangkaian pembangkit tegangan tinggi dengan berbasis transformator flyback dimana dengan transformator ini menjadikan volume dan bobot alat jauh lebih kecil sehingga memungkinkan untuk dibuat portabel. Metode penarikan tegangan dengan mengkonversi tegangan listrik DC menjadi tegangan listrik berpulsa dengan frekuensi tinggi. Tegangan rendah dengan frekuensi tinggi ini sebagai inputan primer transformator flyback, outputnya tegangan tinggi DC didapatkan dari output transformator tersebut, karena di dalam transformator telah dipasang dioda penyearah di bagian sekundernya. Dari variasi frekuensi pada frekuensi 3,9 kHz tegangan output tertinggi 72 kV bila dibandingkan dengan tegangan tembus udara, pada pengukuran dengan probe 45 kV dan dengan metoda hukum Ohm 43,2 kV serta pada frekuensi yang sama elektrode dipisah sejauh 2 cm terjadi aliran arus 10 mA.

Kata kunci : Tegangan tinggi, transformator flyback, pesawat Sinar-x medik.

1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini peralatan medik seperti pesawat sinar-x untuk diagnostik, di Indonesia masih merupakan peralatan produk bangsa asing lebih-lebih yang penggunaannya *mobile*. Pada pesawat sinar-x untuk *expose* sinar-xnya mesti memerlukan suplai tegangan listrik yang tinggi puluhan hingga ratusan kilo volt. Untuk pesawat sinar-x yang mobile/portabel seperti untuk *rontgen* gigi tegangan itu kisaran 20 s/d 80 kV. Untuk membangkitkan tegangan setinggi itu bila menggunakan transformator konvensional akan memakan tempat dan bobot yang besar, sementara alat-alat yang portabel tentu tidak bisa demikian. Dalam penelitian ini dianalisis dan dilakukan pembuatan rangkaian elektrik/elektronik pembangkit tegangan tinggi dengan berbasis trafo *flyback*. Tegangan tinggi yang dihasilkan dianalisis, guna mengetahui kecukupannya untuk mensuplai tabung pesawat sinar-x medik khususnya *rontgen* gigi.

2. DASAR TEORI

2.1. Transformator *flyback*

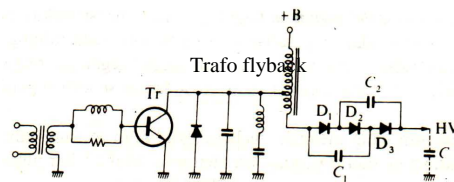
Transformator atau trafo *flyback* ada yang bentuknya seperti Gambar 1 dimana trafo telah diintegrasikan dengan dioda penyearah /pelipat, pembagi tegangan, kapasitor resonansi dan beberapa kumparan tegangan rendah yang keseluruhannya dicor menjadi satu unit (*bulk*). Pada pesawat televisi trafo ini difungsikan sebagai pelipat tegangan pulsa *flyback* dari rangkaian defleksi horizontal.^[1]

Gambar 1. Transformator *flyback* ^[1]

Trafo ini menggunakan batang *ferrite* sebagai inti kopling magnetnya yang permeabilitas magnetnya tinggi, histerisisnya rendah sehingga dapat bekerja optimal pada daerah frekuensi tinggi.^[2] HV *peak* dengan frekuensi tinggi itu antara 0,95 s/d 0,99 karena ripelnya amat rendah 4 s/d 15% dibanding HV frekuensi rendah 50 s/d 60 Hz HV *peak* hanya 0,71 dengan ripel 100%.^[3] Trafo *flyback* yang telah diintegrasikan dengan dioda pelipat dan kapasitor resonansi maka angka/nilai transformasinya akan meningkat secara kuadratis.^[4]

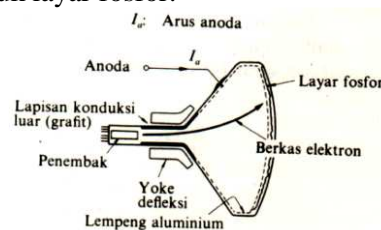
2.2. Pembangkitan Tegangan Tinggi

Pada pesawat televisi untuk menghasilkan tegangan tinggi pertama-tama inputannya berupa pulsa output horizontal. Gambar 2 merupakan contoh rangkaian pembangkit tegangan tinggi pada tabung televisi. Pulsa output horizontal diberikan kepada transformator *flyback* yang akan memperbesar pulsa output horizontal 10 kali lipat. Kemudian pulsa yang telah diperbesar diberikan ke penyearah pendobel (melipat dua) yang biasanya rangkaian ini telah dirangkai dan ditanam dalam satu unit transformator *flyback* ini sehingga outputnya sudah berupa tegangan tinggi searah (DC).^[1]

Gambar 2. Rangkaian pembangkit tegangan tinggi pada televisi ^[1]

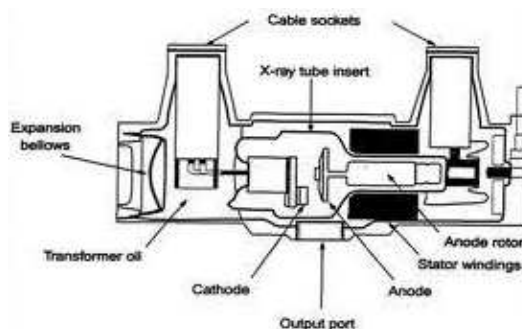
Biasanya pada pesawat televisi rangkaian pembangkit tegangan tinggi dibuat bersama dengan rangkaian output defleksi horizontal. Pada pesawat penerima televisi berwarna yang ukuran besar memerlukan daya output horizontal yang juga besar, maka transistor-transistor output horizontalnya kadang dirangkai dalam bentuk pasangan Darlington atau paralel, atau ada yang dibuat rangkaian pembangkit tegangan tinggi ini terpisah dari rangkaian defleksi horizontal yang merupakan sumber pulsa tegangan awal dari rangkaian penghasil tegangan tinggi. Jadi jika menghendaki tegangan bisa dilipatgandakan tegangan harus dioscilasi dahulu menjadi bentuk pulsa dengan frekuensi tinggi akan lebih efektif.^[3]

Pada tabung televisi tegangan tinggi diperlukan untuk mempercepat gerak elektron ketika menuju layar fosfor pada tabung sehingga meningkatkan kuat cahaya sinar layar fosfor.^[1] Jadi baik pada tabung televisi maupun pada tabung pesawat sinar-x, tegangan tinggi digunakan untuk mempercepat gerak elektron. Gambar 3 berkas elektron dipercepat dengan tegangan tinggi pada tabung televisi hingga menumbuk layar fosfor.

Gambar 3. Gerak elektron dipercepat pada tabung televisi. ^[1]

2.3. Tegangan tinggi pada pesawat sinar-x

Perbedaan yang terjadi pada tabung pesawat televisi dengan pada tabung sinar-x terletak pada **sasaran tembak elektron, fungsi dan hasil kecepatan elektron**. Gambar 4. Pada tabung sinar-x sasaran tembak sebagai anoda adalah logam keras (tungsten), yang ikatan atomnya kuat dengan tujuan agar elektron cepat kuat menembak hingga melepas ikatan atom logam keras tersebut sehingga timbullah sinar-x karakteristik disamping sinar-x *breaking*. Anoda ini berbentuk piringan yang dapat berputar dengan tujuan disamping untuk pendinginan juga agar tembakan elektron tidak terkonsentrasi pada satu titik di piringan anoda tersebut sehingga material anoda tidak cepat tergradasi dan rusak^[3] Gambar 4 menunjukkan susunan tabung pada pesawat sinar-x.



Gambar 4. Tabung pesawat sinar-x.^[3]

Tampak sangat jelas perbedaan struktur tabung pada pesawat televisi dengan tabung pada pesawat sinar-x. Pada sinar-x tabung terkungkung begitu rapat sedang pada televisi tabung terbuka, karena memang masing-masing memiliki fungsi dan tujuan yang berbeda. Tabung televisi sengaja ditempatkan terbuka karena tabung dimana terdapat layar lapisan fosfor merupakan obyek untuk dilihat /ditonton, sedangkan pada tabung sinar-x, sinar-x merupakan obyek yang diperlukan untuk penyinaran (rontgen) namun hanya sekejap (milisecon). Sinar-x berbahaya bagi kesehatan, jika radiasinya mengenai anggota tubuh manusia /makhluk hidup dalam jangka yang lama. Tabung sinar-x selalu dikungkung dalam suatu bejana tertutup sebagai *shielding* agar radiasi sinar-x tidak bertebaran kemana-mana.

2.4. Rating HV dan arus (mA)

Pesawat sinar-x untuk kesehatan memiliki *rating* HV25-150 kilovolt *peak* (kVp), *rating* arus anoda pada 10-1200 mA dan *time exposure*, 0,001 -10 *second*.^[5] Sebagai contoh pesawat sinar-x untuk *rontgen* gigi merek Nomad arus anoda yang diperlukan 2,3 mA dengan tegangan 60 kV.^[6]

2.5. Pengukuran tegangan tinggi

Pengukuran tegangan rendah bukanlah merupakan persoalan yang sulit. Yaitu cukup dengan menggunakan voltmeter atau multimeter yang dipilih ke skala volt disambung paralel terhadap sumber dan beban listrik. Tetapi untuk mengukur tegangan tinggi (>1000 volt) agak memerlukan pemikiran tersendiri, karena alat ukur tegangan rata-rata skala tegangan maksimumnya 1000 volt. Pengukuran tegangan tinggi bisa dilakukan adalah dengan probe yang prinsipnya dengan membagi tegangan menggunakan resistor atau menggunakan kapasitor (*capacitor voltage divider*).^[7] Dengan cara ini dapat melipat gandakan kemampuan ukur tegangan dari voltmeter secara proporsional dengan nilai resistansi atau kapasitansinya. Cara pengukuran tegangan tinggi juga dapat dilakukan dengan metode pengukuran tegangan tembus udara atmosfer dimana rata-rata tegangan tembus udara 16 kV/cm.^[8]

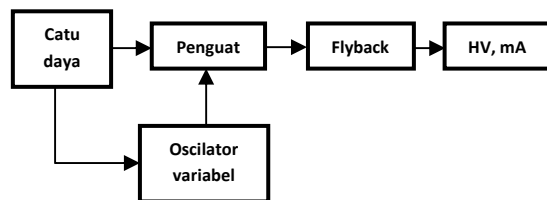
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Pembuatan rangkaian pembangkit tegangan tinggi dengan komponen utamanya transformator *flyback* seri F 0193 merek Sharp.
2. Pengukuran tegangan tinggi dengan variasi frekuensi pulsa inputan sementara beban tetap.
3. Pengukuran arus output dengan variasi beban yang berupa dielektrikum udara yang jaraknya divariasikan.
4. Pengukuran arus output dengan variasi beban resistor orde megaohm sementara jarak tetap.
5. Pengumpulan data hasil pengukuran, analisa data dan pembahasan.

3.1. Pembuatan rangkaian tegangan tinggi

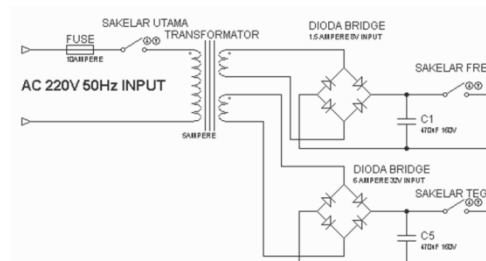
Rangkaian pembangkit tegangan tinggi direncanakan terdiri dari beberapa blok rangkaian. Bila digambarkan blok diagram secara lengkap pembangkit tegangan tinggi itu seperti Gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram rangkaian pembangkit tegangan tinggi variabel

3.1.a. Catu daya

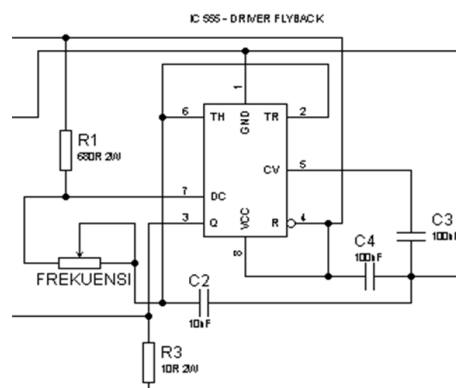
Catu daya DC dibuat dua cabang yaitu pertama 40 VDC sebagai suplai power utama daya yang dimasukkan ke penguat dan cabang suplai kedua 10 VDC untuk suplai oscilator. Rangkaian power suplai secara lengkap seperti pada Gambar 5. Komponen-komponen power suplai sebagaimana terlihat di Gambar 7. terdiri dari Transformator CT 5 A, satu buah dioda *bridge* 1.5 A, satu buah dioda *bridge* 6 A, dan dua buah kapasitor 2200 μ F 160 V.



Gambar 5. Rangkaian Catu daya

3.1.b. Rangkaian Oscilator

Rangkaian Oscilator berfungsi sebagai pembangkit pulsa. Rangkaian ini dibuat seperti Gambar 6.

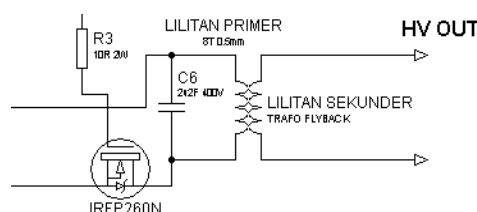


Gambar 6. Rangkaian Oscilator

Dalam rangkaian Gambar 6 pulsa yang dibangkitkan frekuensi pulsa dapat diatur dengan potensio yang di pin 7 IC555 dimana IC tersebut sebagai otaknya dalam proses pembangkitan pulsa berfrekuensi. Inputan rangkaian berupa arus/tegangan 10 VDC di pin 2 dan pin 1 sebagai *ground*. Output rangkaian keluar dari pin 3 untuk selanjutnya disalurkan melalui R3 ke driver/penguat. Adapun jenis dan jumlah komponen yang digunakan dapat dilihat di Gambar 6.

3.1.c. Transformator *flyback* dan drivernya

Rangkaian driver/penguat intinya ada di transistor MOSFET sebagaimana ditampilkan di Gambar 7. Secara teori transistor ini harus kuat untuk menyalurkan arus yang besar, maka dalam teori sering disarankan menggunakan lebih dari satu transistor untuk dipasang secara berpasangan (Darlington) agar kuat arusnya meningkat.



Gambar 7. Rangkai penguat dan trafo *flyback*

Proses transformasi daya listrik dapat terjadi karena tenaga listrik yang awalnya listrik DC kontinyu/diam dirubah menjadi listrik DC yang bergetar. Penggetaran karena transistor MOSFET oleh rangkaian oscilator Gambar 5. Kemudian output yang diperoleh berupa energi listrik DC hampir rata (ripel kecil) dan dengan tegangan yang sangat tinggi, karena ditransformasikan oleh trafo *flyback*.

3.2. Pengukuran tegangan tinggi/HV dan mA

Dalam penelitian ini untuk melakukan pengukuran HV diawali dan didasari dengan pengukuran frekuensi pulsa dan tegangan yang dihasilkan. Dari hal itu maka dapat diketahui bahwa pada frekuensi tertentu maka HV yang dihasilkan juga tertentu.

3.2.a. Pengukuran HV dengan metode *resistor voltage divider*

Pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan menggunakan alat/komponen milik laboratorium Akselerator PSTA-BATAN Yogyakarta yang berupa mikroampere meter (batas ukur maksimum 50 mikroAmpere) dan beban 10 buah resistor yang bernilai masing-masing 120 Mohm. Jadi jika dihitung dengan hukum Ohm maka batas ukur tegangan maksimum alat ukur ini adalah $V_{max} = 50 \times 10^{-6} \times 120 \times 10 \times 10^6 = 60 \text{ kV}$. Adapun urutan prosesnya adalah :

1. Hidupkan alat pembangkit HV dengan dipilih posisi HV terendah dahulu.
2. Lakukan pengukuran HV dengan cara mengukur arus dengan mikroampere meter pada beban resistor 1200 Mohm yang di suplai dengan tegangan tinggi/HV tersebut.
3. Lakukan pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran.
4. Lakukan seperti langkah 2 dengan tingkat tegangan yang lebih tinggi.
5. Catat semua hasil pengukuran.

3.2.b. Pengukuran HV dengan menggunakan probe dan multimeter Sanwa YX-360TRF

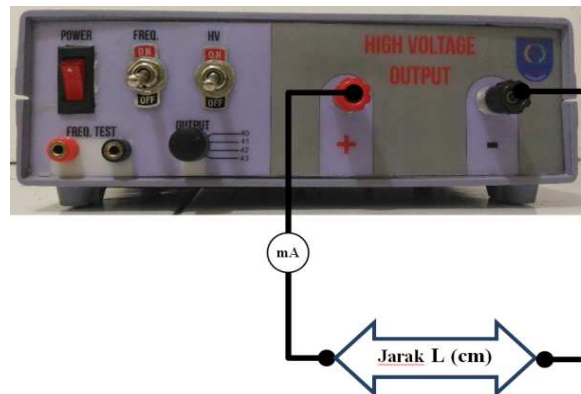
Adapun urutan prosesnya adalah :

1. Hidupkan alat pembangkit HV dengan dipilih posisi HV terendah dahulu.
2. Lakukan pengukuran HV dengan menggunakan multimeter dan probe, pilih skala tegangan DC x 1000.
3. Lakukan pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran hasil penunjukan dikalikan 1000.
4. Lakukan seperti langkah 2 dengan tingkat tegangan yang lebih tinggi.
5. Catat semua hasil pengukuran.

3.2.c. Pengukuran HV dan mA dengan metode tegangan tembus udara

Proses urutan yang dilakukan adalah :

1. Posisikan ujung elektroda positif (anoda) dan ujung elektroda negatif (katoda) berjarak $L = 5$ cm seraya salah satu kabel elektrode positif atau negatif disambungkan seri alat ukur mili amapere meter (mA) hingga rangkaiannya seperti Gambar 8.



Gambar 8. Pengukuran HV dan mA dengan metode dielectrik udara.

2. Hidupkan alat pembangkit HV dengan dipilih posisi HV terendah dahulu.
3. Amati apakah sudah muncul *flashover* (loncatan bunga api listrik), bila belum dekatkan jarak antar elektrode hingga *flashover* timbul.
4. Lakukan pengamatan dan pencatatan arus (mA) dan jarak L (cm) antar elektrode.
5. Lakukan seperti langkah 4 dengan posisi tegangan sama tetapi jarak yang semakin pendek.
6. Lakukan seperti langkah 4 dengan jarak elektrode tetap tetapi pilihan tegangan yang semakin tinggi.
7. Lakukan seperti langkah 1 tetapi disamping elektrode disambung dengan miliampere meter juga diseri lagi dengan resistor 2,3 Mohm dan ulangi lagi dengan resistor 1,5 Mohm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang pertama diperoleh adalah satu unit alat (*hardware*) pembangkit tegangan tinggi, bentuk alatnya secara fisik seperti Gambar 8. dan rangkaian listrik /elektroniknya secara lengkap seperti Gambar 9 di Lampiran 1. Kemudian hasil pengukuran HV dengan metode tegangan tembus udara disajikan pada Tabel 1, hasil pengukuran HV dengan menggunakan probe dan multimeter Sanwa YX-360TRF disajikan pada Tabel 2 serta hasil pengukuran HV dengan metode *resistor voltage divider* disajikan di Tabel 3.

Tabel 1. Data hasil pengukuran HV dengan metode tegangan tembus udara (16000 volt/cm)

Frekuensi (kHz)	Jarak (cm)	HV= volt x cm (volt)
1,6	1,5	24000
2,0	1,7	27200
3,0	4	64000
4,0	4,5	72000
5,0	4,2	67200
6,0	4,2	67200
7,0	3,8	60800
8,0	3,5	56000
9,0	3,9	62400
10,0	4,1	65600
20,0	2,5	40000
82,0	1,5	24000

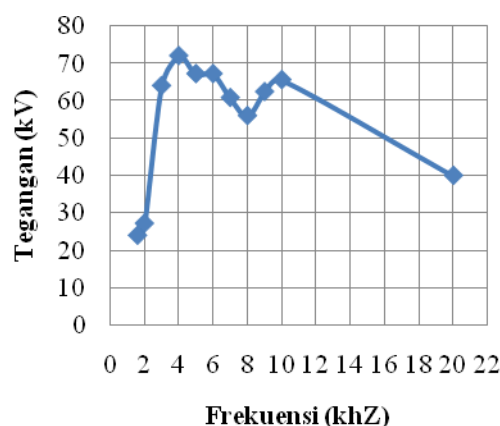
Tabel 2 hasil pengukuran HV dengan menggunakan probe (x1000) dan multimeter Sanwa YX-360TRF

Frekuensi (kHz)	Tegangan (volt)
3,2	40000
3,6	42000
3,9	45000

Tabel 3 Data hasil pengukuran HV dengan metode *resistor voltage divider RL 1200MΩ*

Frekuensi (kHz)	Arus (μ A)	HV=IxR (volt)
3,2	33	39600
3,6	34	40800
3,9	36	43200
4,2	35	42000

Dari data hasil pengukuran HV metode tegangan tembus udara yang disajikan di Tabel 1 jika ditampilkan secara grafis adalah seperti Gambar 10. Dari data grafik tersebut dapat dimengerti bahwa daerah frekuensi kerja yang optimal untuk pelipat gandaan tegangan adalah pada daerah frekuensi antara 3 kHz sampai dengan 10 kHz.



Gambar 10 Grafik HV fungsi frekuensi.

Masih dari Gambar 10 terlihat bahwa tegangan tertinggi dicapai pada frekuensi 4 kHz yakni 72 kV. Kemudian masih dari data Tabel 1 akan memungkinkan dibuat selector HV mulai dari 40 kV hingga 70 kV.

Selanjutnya dari data Tabel 2 data tegangan tertinggi yang dapat diamati 45 kV selebihnya tak teramati karena keterbatasan alat ukur.

Kemudian dari data Tabel 3 yang mana data diperoleh dengan hukum Ohm ($V=IxR$), diperoleh tegangan HV tertinggi 43,2 kV.

Kemudian ketika dilakukan pengukuran arus dengan elektrode dipisah sejarak 2 cm, pada posisi selektor HV tertinggi arus teramati 10 mA, selama 2 detik kemudian arus menurun. Dari data ini daya listrik alat HV ini bila dihitung dapat mencapai ± 432 s/d 7200 VA. Sementara itu pesawat sinar-X untuk gigi merek NOMAD tegangan HV yang dapat dikeluarkan 60 kV dan arusnya 2,5 mA, sehingga bila dikalkulasi dayanya ± 150 VA.

5. KESIMPULAN

Alat pembangkit tegangan tinggi HV dengan trafafo *flyback* berhasil dibuat.

Dari pengukuran dengan metode perbandingan tegangan tembus udara atmosfer HV tertinggi 72 kV. Dengan pengukuran dengan probe tegangan tertinggi 45 kV dan dengan metode hukum Ohm tegangan HV tertinggi 43,2 kV.

Dari pengukuran arus pada selektor di posisi tegangan tertinggi jarak elektrode 2 cm arusnya bisa mencapai 10 mA, sehingga bila dari 3 hasil pengukuran tegangan diatas diambil yang terendah 43,2 kVmaka daya alat ini dapat mencapai ± 432 VA.

Dari sisi daya alat pembangkit tegangan tinggi dengan trafo *flyback* ini sudah cukup untuk suplai pesawat sinar-x untuk rontgen gigi seperti produk NOMAD (± 150 VA) tetapi tegangannya masih perlu ditingkatkan.

6. SARAN

Pengukuran tegangan tinggi dan arusnya dengan probe perlu diperbaiki metodenya agar hasil pengukuran lebih mendekati benar dan lebih akurat.

Penentuan step-step pada selector HV perlu diperbaiki agar HV yang dipilih selalu pada nilai yang bulat (tidak ada koma).

Metode pelipataan tegangan dari rangkaian perlu dicari lagi agar HV tercapai minimal 60 kV.

DAFTAR PUSTAKA

- Rio. S.R, Sawamura.Y, “Teknik Reparasi Televisi Berwarna”, PT Pradnya Paramita Jakarta, tahun 1991.
- Tabakov.S, “X-ray tube and generator principles bassics and construction” King’s college London.
- Kalpana M.K, “X-ray Production, X-ray Tubes and Generators-Chapter 5”, <http://courses.washington.edu/radxp/Physicscourse04-05.html> diakses jam 11.15 tgl 10 juni 2016.
- Hong. S-S, at all., “Analysis and Design of a High Voltage Flyback Converter with Resonant Elements” Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 2, March 2010. Dept. of Electrical Engineering, Kookmin University, Korea.
- Noname, “Principles of Imaging Science I X-ray Tube & Equipment”, http://www.mccc.edu-kerrs/documents/xraytube_lec_fl2.pdf, diakses jam 09 tgl 16 Juli 2016.
- NOMAD Dental Manual, [http:// www. aribex. com/wp-content /uploads /file/pdf /MP0013GNOMAD DentalUserManual.pdf](http://www.aribex.com/wp-content/uploads/file/pdf/MP0013GNOMADDentalUserManual.pdf), diakses jam 14.25 tgl 22 Juli 2016.
- Munandar.A.A, “ Teknik Tegangan Tinggi” PT.Pradnya Pramita Jakarta1984.
- Syukur.A dan Facta.M, “Perbandingan Tegangan Tembus media isolasi udara dan media isolasi minyak trafo menggunakan elektroda bidang-bidang, Jurnal Transmisi, Vol. 10, No. 2, Desember 2005 : 26 – 29.Undip Semarang.